

ESTIMATING MAXIMUM FRICTION COEFFICIENT BASED ON KNOWLEDGE OF LOADS AND SELF-ALIGNMENT TORQUE GENERATED IN A TYRE CONTACT ZONE

Publication number: FR2835919

Publication date: 2003-08-15

Inventor:

Applicant: MICHELIN SOC TECH (FR); MICHELIN RECH TECH (CH)

Classification:

- international: **G01M17/02; B60C19/00; B60R16/02; B60T8/172; G01M17/02; B60C19/00; B60R16/02; B60T8/17; (IPC1-7): G01N19/02; G01M17/02**

- european: B60T8/172C

Application number: FR20020001597 20020208

Priority number(s): FR20020001597 20020208

Also published as:



WO03066400 (A1)
EP1476339 (A1)
US7069135 (B2)
US2005065699 (A1)
EP1476339 (A0)

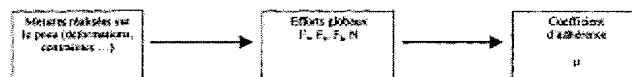
more >>

Report a data error here

Abstract not available for FR2835919

Abstract of corresponding document: **WO03066400**

The invention concerns a method comprising the following steps: selecting several fixed points in space, located at different azimuths along the circumference in at least one sidewall of the tyre, performing as many measurements of circumferential distance variation (extension or contraction) at those fixed points when the tyre is running on the road surface, processing the measurement signals so as to extract therefrom the three components of a resultant of the loads exerted by the road surface on the contact zone of a tyre and the self-alignment torque generated by the tyre, processing the signals evaluating the three components of a resultant of the loads exerted by the road surface on the contact zone of a tyre and the self-alignment torque generated by the tyre so as to extract therefrom said friction coefficient μ .



Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

①②

DEMANDE DE BREVET D'INVENTION

A1

②② Date de dépôt : 08.02.02.

③① Priorité :

④③ Date de mise à la disposition du public de la
demande : 15.08.03 Bulletin 03/33.

⑤⑥ Liste des documents cités dans le rapport de
recherche préliminaire : *Se reporter à la fin du
présent fascicule*

⑥① Références à d'autres documents nationaux
apparentés :

⑦① Demandeur(s) : SOCIETE DE TECHNOLOGIE
MICHELIN Société anonyme — FR et MICHELIN
RECHERCHE ET TECHNIQUE SA — CH.

⑦② Inventeur(s) :

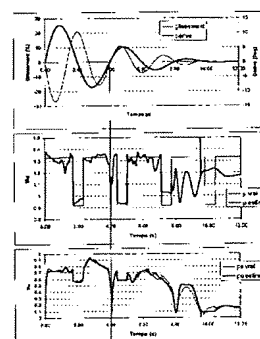
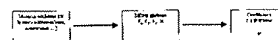
⑦③ Titulaire(s) :

⑦④ Mandataire(s) : COMPAGNIE GENERALE DES ETA-
BLISSEMENTS MICHELIN -MICHELIN ET CIE.

⑤④ MESURE DE COEFFICIENT D'ADHERENCE MAXIMAL A PARTIR DE LA CONNAISSANCE DES EFFORTS ET
DU COUPLE D'AUTOALIGNEMENT GENERES DANS L'AIR DE CONTACT D'UN PNEU.

⑤⑦ La méthode proposée comporte les étapes suivantes :

- sélectionner plusieurs points fixes dans l'espace, si-
tués à des azimuts différents le long de la circonférence
dans au moins un flanc du pneu,
- effectuer autant de mesures de variation de distance
circonférentielle (extension ou contraction) à ces points
fixes lorsque le pneu roule sur la chaussée
- traiter les signaux de mesure de façon à en extraire les
trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la
chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et le cou-
ple d'auto-alignement généré par le pneu,
- traiter les signaux d'évaluation des trois composantes
d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire
de contact d'un pneumatique et du couple d'auto-aligne-
ment généré par le pneu de façon à en extraire ledit coef-
ficient d'adhérence v.



La présente invention se rapporte à l'évaluation de l'adhérence d'un véhicule sur une chaussée. Elle concerne plus particulièrement la détermination des caractéristiques d'effort et de l'adhérence dans le contact entre la chaussée et une roue de véhicule,
5 équipée d'un bandage élastique tel qu'un pneu gonflé ou un bandage élastique non pneumatique qui roule sur la chaussée.

La présente invention concerne aussi les divers dispositifs d'assistance électronique utilisés par exemple pour la régulation antiblocage des freins d'un véhicule ou la
10 régulation anti-patinage des roues motrices, le contrôle de trajectoire d'un véhicule ou encore pour d'autres formes de contrôle ou de surveillance comme la pression des pneus. On sait que de tels dispositifs reconstruisent par calcul le coefficient d'adhérence (μ) des pneus sur la chaussée, sans avoir procédé à la moindre mesure ni du coefficient d'adhérence ni des efforts développés dans le contact des pneus au sol. Même si ces
15 dispositifs apportent une assistance remarquable et un surcroît de sécurité, leur fonctionnement gagnerait beaucoup à utiliser une valeur mesurée, ou estimée à partir de mesures réelles effectuées sur le pneu en fonctionnement.

C'est pourquoi l'objectif de la présente invention est de proposer une évaluation des
20 efforts en jeu dans le contact du véhicule sur la chaussée, et une évaluation de l'adhérence d'un véhicule sur une chaussée. Elle concerne plus particulièrement la détermination de caractéristiques d'efforts et de l'adhérence entre la chaussée et une roue de véhicule, ou un pneu ou un bandage élastique, termes considérés comme équivalents dans le contexte de la présente invention.

25 Les divers dispositifs d'assistance électronique évoqués ci-dessus profiteraient donc utilement d'indications « en temps réel » sur les efforts et les conditions d'adhérence susceptibles d'affecter le comportement d'un véhicule, notamment dans le cas où il subit une accélération par effort moteur ou par effort freineur ou par changement de
30 direction de déplacement. L'invention vise à fournir une méthode d'y parvenir de manière efficace.

Dans ce qui suit, on entend par « potentiel d'adhérence maximum » le rapport entre l'effort tangentiel maximal (transversal, longitudinal ou les deux combinés) et l'effort normal que la roue peut subir. Dans le texte, on le désigne aussi par le terme « coefficient d'adhérence maximal » ou la lettre μ .

5

On entend par « efforts globaux » les trois composantes de forces F_x , F_y et F_z appliquées au centre de la roue et le couple d'auto-alignement N autour de l'axe Z .

10 Dans le but d'estimer le potentiel d'adhérence maximum, il a été proposé d'équiper la bande de roulement d'un pneu, ou certains éléments de la bande de roulement spécialement adaptés, de capteurs destinés à mesurer ou à estimer les efforts générés localement, en particulier en conditions de glissement. Ces approches, quoique fort prometteuses, présentent néanmoins certaines difficultés intrinsèques. Il est en effet difficile de garantir le bon fonctionnement d'un capteur dans cette zone du pneu, en
15 particulier avec l'usure de la bande de roulement, pendant toute la vie du pneu. De plus, les estimations fournies par ces capteurs sont très locales et sensibles à l'état de surface de la chaussée.

Or comme on cherche en fait à estimer le potentiel d'adhérence maximum de la roue, il
20 faut encore le déterminer à partir du potentiel local mesuré.

L'invention détaillée ici se distingue de ces approches locales. Elle propose d'utiliser une mesure des déformations globales du pneu de manière à obtenir une information sur le potentiel d'adhérence maximum de la roue sur le sol. En effet, lorsque le pneu est
25 soumis à une sollicitation, le point d'application des forces appliquées dans l'aire de contact dépend entre autre du coefficient d'adhérence maxi parce que, dès qu'une partie de l'aire de contact de la roue sur la chaussée est en glissement, sa contribution aux efforts tangentiels est saturée à un niveau qui dépend du coefficient d'adhérence. Les déformations du pneu sont elles mêmes sensibles au déplacement de ce point
30 d'application. En particulier, l'extension circonférentielle des flancs, sensible aux efforts appliqués, est aussi sensible au déplacement du point d'application des forces dans l'aire de contact.

La méthode proposée utilise des mesures des déformations circonférentielles du flanc en certains azimuts du pneu pour permettre une estimation des efforts et du coefficient d'adhérence maxi.

5

L'invention propose une méthode de détermination des caractéristiques formées par les trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et le couple d'auto-alignement généré par le pneu, et par le coefficient d'adhérence μ dans l'aire de contact d'un pneu sur une chaussée, comportant

10 les étapes suivantes :

- sélectionner plusieurs points fixes dans l'espace, situés à des azimuts différents le long de la circonférence dans au moins un flanc du pneu,
- effectuer autant de mesures de variation de distance circonférentielle (extension ou contraction) à ces points fixes lorsque le pneu roule sur la chaussée
- 15 • traiter les signaux de mesure de façon à en extraire les trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et le couple d'auto-alignement généré par le pneu,
- traiter les signaux d'évaluation des trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et du couple
- 20 d'auto-alignement généré par le pneu de façon à en extraire ledit coefficient d'adhérence μ .

Pour fournir une bonne estimation de μ , la méthode nécessite qu'il existe une zone de glissement dans l'aire de contact, qu'elle soit créée par une conception spéciale du pneu

25 ou par un niveau suffisant de sollicitation appliqué au pneu. De manière à obtenir une information fiable même en cas de faible glissement, l'invention propose d'estimer, en plus du potentiel d'adhérence maximal, le pourcentage de potentiel utilisé. Cette grandeur présente en effet l'avantage d'être plus facilement estimée en valeur absolue même pour des sollicitations faibles.

30

La méthode de l'invention est basée sur la constatation du fait que les efforts agissant entre la bande de roulement du pneu et la chaussée provoquent une déformation sensible

et reproductible sous forme d'une extension ou contraction circonférentielle des flancs des pneus. Cette déformation d'extension ou de contraction circonférentielle, si l'on parvient à la mesurer isolément lors de la rotation du pneu en temps réel, peut permettre de connaître à chaque instant le sens et l'intensité des efforts agissant sur le pneu ainsi
5 que le signe et l'intensité du couple d'auto-alignement exercé par le pneu et le coefficient d'adhérence du pneu sur la chaussée.

Sous un aspect particulier mais intéressant, l'invention propose d'estimer la contraction ou l'extension circonférentielle des flancs par la mesure de la distance entre les fils de la
10 nappe carcasse dans les flancs. On peut aussi mesurer la distance entre des (par exemple deux) fils placés dans les flancs pour former un capteur, et qui subissent des mouvements corrélés à ceux des fils de la nappe carcasse. On parlera dans la suite de la mesure de « l'écart entre les fils ». Notons que si cette dénomination est liée à la structure radiale d'un pneu la méthode ne s'applique pas uniquement aux pneus à
15 carcasse radiale. Ainsi, on parlera « d'écart fils » pour désigner la distance moyenne entre deux tracés réalisés sur le flanc à des azimuts voisins mais différents.

Notons que dans le cas où la mesure de l'extension circonférentielle des flancs est réalisée dans l'épaisseur des flancs à un endroit différent de leur fibre neutre en flexion,
20 l'extension circonférentielle inclut une composante due à la flexion du flanc, notamment lors du passage dans l'aire de contact (phénomène aussi appelé « ventre de lapin »). Cette composante due à la flexion n'est en aucun cas un problème et peut être mise à profit pour augmenter la dynamique de variation des signaux utilisés par l'invention en réalisant la mesure d'extension ailleurs que sur la fibre neutre en flexion.

25

La suite de la description explique plus en détails l'invention à l'aide des figures jointes dans lesquelles :

la figure 1 est une perspective d'un pneu sur lequel on définit des conventions utiles à l'intelligence de l'invention ;

30 la figure 2 est une vue de face d'un pneu schématique permettant d'expliquer l'invention ;

- la figure 3 est une vue de côté d'un pneu schématique permettant d'expliquer l'invention ;
- la figure 4 illustre le cisaillement d'une nervure dans l'aire de contact, ainsi que les contraintes associées ;
- 5 la figure 5 illustre l'effet du coefficient de frottement sur la répartition des efforts ;
- la figure 6 illustre la relation entre N et F_y sur un pneu réel en fonction du coefficient de frottement ;
- la figure 7 donne le domaine d'utilisation de la méthode ;
- les figures 8a et 8b montrent l'effet de la composante verticale F_z :
- 10 – où la courbe pleine correspond à une charge verticale de 400 daN,
- où la courbe en pointillés correspond à une charge verticale de 500 daN,
- où la courbe en trait mixte correspond à une charge verticale de 300 daN ;
- les figures 9a et 9b montrent l'effet de la composante F_x :
- où la courbe pleine correspond à une charge verticale de 400 daN et une absence
- 15 de force F_x ,
- où la courbe en pointillés correspond à une charge verticale de 400 daN et une force F_x de 400 daN (force motrice),
- où la courbe en trait mixte correspond à une charge verticale de 400 daN et une force F_x de - 400 daN (force freineuse) ;
- 20 les figures 10a et 10b montrent l'effet de la composante F_y :
- où la courbe pleine correspond à une charge verticale de 400 daN sans effort F_y ,
- où la courbe en pointillés correspond à une charge verticale de 400 daN avec un effort F_y de 280 daN ;
- la figure 11 montre l'architecture de réseau de neurones ;
- 25 la figure 12 montre des exemples de fonction de transfert où les combinaisons linéaires en entrée sont facultatives. Il est possible d'utiliser un réseau à quatre sorties ou quatre réseaux à une sortie ou toute autre combinaison ;
- la figure 13 montre le signal temporel brut et filtré ;
- la figure 14 montre l'identification du passage dans l'aire de contact à partir du signal
- 30 temporel ;
- la figure 15 montre un exemple de fonctionnement avec un capteur et un modèle ;

la figure 16 montre un exemple de fonctionnement avec trois capteurs et un modèle ;

la figure 17 montre un exemple de fonctionnement avec trois capteurs et deux modèles :

- où les positions indiquées en traits pleins représentent les azimuts auxquels les mesures doivent être prises pour servir d'entrée au modèle 1,
- 5 – où les positions indiquées en traits pointillés représentent les azimuts auxquels les mesures doivent être prises pour servir d'entrée au modèle 2,
- où C1, C2 et C3 représentent les positions des capteurs sur le flanc d'un pneumatique.

la figure 18 est un bloc diagramme de l'estimation des efforts, puis de μ à partir des
10 mesures de déformation ;

la figure 19 donne les résultats de l'estimation de μ et du pourcentage du potentiel d'adhérence utilisé.

La méthode décrite ici s'appuie sur le fait que chaque force appliquée au pneu dans
15 l'aire de contact provoque une modification de l'extension circonférentielle des flancs du pneu. Considérons le cas d'un pneu monté sur sa roue et gonflé sur le premier flanc duquel on repère (figure 1) deux points A_1 et A_2 placés sur un même rayon mais séparés dans la direction circonférentielle. Sur le second flanc, aux mêmes azimuts que A_1 et A_2 et sur le même rayon, on choisit deux points B_1 et B_2 . En l'absence de forces appliquées
20 sur le pneu, la distance qui sépare les deux points est constante en fonction de l'angle de rotation de l'ensemble monté.

Lorsque le pneu est soumis à des forces, on observe les effets suivants pour chacune des composantes desdites forces :

- 25 • La composante verticale (dénommée F_z) plaque le pneu sur le sol. En créant une aire de contact, elle entraîne une variation de la distance entre les deux points A_1 et A_2 lorsque le pneu est en rotation, traduisant une modification de l'extension circonférentielle des flancs. Les figures 8a et 8b indiquent la distance qui sépare, respectivement les points A et les points B, en fonction de l'azimut auquel ils se
30 trouvent. L'augmentation de la composante verticale appliquée entraîne une extension des deux flancs dans l'aire de contact (augmentation de la distance vers

180°) et une contraction des autres zones du flanc, principalement en entrée et en sortie de l'aire de contact (diminution de la distance partout ailleurs, principalement vers 135° et 225°). Il est aussi intéressant de constater qu'il existe un azimut en entrée de l'aire de contact et un azimut en sortie d'aire de contact où la valeur d'extension circonférentielle est sensiblement indépendante de la composante Fz appliquée. Soit α_0 tel que ces azimuts particuliers soient égaux à $(180-\alpha_0)^\circ$ et $(180+\alpha_0)^\circ$.

- La composante horizontale dans la direction de roulage (dénommée Fx) provoque une différenciation des zones situées en entrée et en sortie de l'aire de contact. Ceci se traduit par une évolution de l'extension des flancs essentiellement en entrée et en sortie de l'aire de contact. Les figures 9a et 9b illustrent les effets de la composante Fx des forces appliquées, en indiquant la distance qui sépare, respectivement les points A et les points B, en fonction de l'azimut auquel ils se trouvent. Lorsqu'une force Fx positive est appliquée (couple moteur), les deux flancs sont comprimés dans la direction circonférentielle en entrée d'aire de contact et en extension en sortie d'aire de contact (Diminution de la distance environ vers 135° et augmentation environ vers 225°). Lorsqu'une force Fx négative est appliquée (couple freineur), les deux flancs sont comprimés dans la direction circonférentielle en sortie d'aire de contact et en extension en entrée (Diminution de la distance vers 225° et augmentation vers 135°).

- La composante horizontale dans la direction transverse (dénommée Fy) provoque principalement une différenciation des deux flancs. Les figures 10a et 10b illustrent les effets de ce type de sollicitation, en indiquant la distance qui sépare, respectivement les points A et les points B, en fonction de l'azimut auquel ils se trouvent. Dans le cas d'une sollicitation avec Fy positif, l'un des flancs est principalement mis en extension circonférentielle (augmentation de la distance entre A₁ et A₂) et l'autre flanc est mis en contraction circonférentielle (diminution de la distance entre B₁ et B₂).

Le couple d'auto-alignement N (moment autour de l'axe vertical) n'est pas à proprement parler un autre effort agissant entre la bande de roulement du pneu et la

chaussée. Il s'agit plutôt d'une conséquence de la façon dont les composantes F_x , F_y et F_z sont appliquées dans l'aire de contact. Si le point d'application de la résultante ayant pour composantes F_x , F_y et F_z n'est pas le centre de l'aire de contact, cette résultante génère un moment autour de O_z que l'on appelle couple d'auto-alignement. La présence
5 de ce moment se traduit principalement par une rotation de l'aire de contact autour de O_z . Cet effet a pour conséquence par exemple une extension circonférentielle en entrée d'aire de contact et une contraction circonférentielle en sortie d'aire de contact sur un flanc alors que sur l'autre flanc on observe une contraction circonférentielle en entrée d'aire de contact et une extension circonférentielle en sortie d'aire de contact par
10 rapport à une situation à couple d'auto-alignement nul.

Lorsque qu'une sollicitation qui mêle des composantes F_x , F_y et F_z est appliquée, on observe une superposition des effets énoncés précédemment sur l'extension dans la direction circonférentielle. Un des avantages de la méthode proposée est de permettre
15 une séparation des contributions de chaque composante de la sollicitation appliquée, de manière à permettre une estimation de chacune de ces composantes.

Définissons l'azimut θ comme l'angle auquel on analyse l'extension circonférentielle des flancs. L'origine de l'azimut est prise à l'opposé du centre de l'aire de contact. Le
20 centre de l'aire de contact a donc l'azimut 180° .

L'invention repose sur la remarque suivante : considérons un pneu simplifié muni d'une nervure unique continue. Les figures 2 et 3 représentent un tel pneu. Dans la zone de l'aire de contact, la nervure est soumise à une contrainte verticale qui la plaque contre le
25 sol. On parle souvent de mise à plat, dans l'empreinte du pneu sur le sol. En l'absence de dérive du pneu, une droite formée par des points de repère pris sur la nervure de façon à ce qu'ils soient alignés dans l'empreinte de contact avec le sol sont ensuite, lors de la rotation du pneu, compris dans un plan qui contient ladite droite définie lorsque les points étaient dans l'empreinte de contact. Si l'on applique un angle de dérive au pneu
30 en roulage, le plan contenant lesdits points de repère lorsqu'ils sont suffisamment éloignés de l'empreinte de contact au sol forme un angle égal à l'angle de dérive avec les points de repère lorsqu'ils sont alignés dans l'empreinte de contact avec le sol. Sur la

figure 4, on peut observer en trait plein la nervure vu de dessus sans dérive et en pointillés la nervure avec une dérive imposée. Plus on s'enfonce dans l'aire de contact, plus la nervure est cisailée et plus la contrainte latérale qui s'applique est grande. Si l'angle de dérive est suffisant, il existe dans l'aire de contact un point G_1 où cette
5 contrainte latérale devient supérieure au potentiel d'adhérence maximum μ_1 , la nervure se met à glisser. Cette situation est représentée en trait mixte sur la figure 4.

La force latérale F_{y1} générée par le pneu est égale à l'intégrale dans l'aire de contact de la contrainte latérale.

10

Si le pneu est placé à un endroit où le potentiel d'adhérence maxi μ_2 est plus faible que μ_1 , il est nécessaire d'augmenter l'angle de dérive pour que le pneu génère la même force de poussée F_y . La zone de glissement commence désormais au point G_2 plus proche de l'entrée de l'aire de contact. La figure 5 permet de comparer les deux
15 situations.

Entre ces deux configurations, les efforts latéraux sont les mêmes (même aire sous la courbe) mais le point d'application de la force F_y s'est déplacé. Plus le potentiel d'adhérence maxi diminue, c'est à dire plus le coefficient d'adhérence diminue, plus le
20 point d'application de la force latérale se déplace vers l'entrée de l'aire de contact.

En particulier, il est possible d'utiliser la mesure de l'extension circonférentielle des flancs du pneu pour estimer le potentiel d'adhérence maxi. En effet, comme déjà vu précédemment, l'évaluation du potentiel maxi d'adhérence utilise le positionnement du
25 point d'application des forces F_x et F_y . Ce point d'application se déplace dans l'aire de contact en fonction du potentiel d'adhérence, en provoquant une modification de l'extension circonférentielle. De la même manière que la mesure de l'extension circonférentielle des flancs en plusieurs azimuts permet d'obtenir le module des forces appliquées (mesure des efforts globaux), elle permet aussi l'estimation de leur point
30 d'application et donc du coefficient d'adhérence maxi.

Une conséquence est que pour le même effort latéral F_y , les couples d'auto-alignement diffèrent en raison d'un déplacement du point d'application de la force. En théorie, on peut utiliser la mesure des efforts globaux (ici F_y et N) pour estimer le coefficient d'adhérence maxi. En effet, pour un effort F_y donné, il existe une relation monotone
 5 entre le couple d'auto-alignement N et le potentiel maxi d'adhérence μ . Ainsi, dans cet exemple, la mesure simultanée de F_y et N permet de mesurer le potentiel d'adhérence maxi μ si une zone de glissement existe dans l'aire de contact.

Sur un pneu réel, le fonctionnement est plus complexe et d'autres phénomènes se
 10 superposent à ceux retenus dans cet exemple, mais le même principe s'applique pour mesurer le potentiel d'adhérence maxi.

On considère cette fois non seulement F_y mais aussi F_x et F_z , qui peuvent varier et influencer au même titre que μ sur la géométrie de la zone en glissement et donc sur N . Il
 15 existe donc une fonction f telle que :

$$N = f(F_x, F_y, F_z, \mu, \dots)$$

La figure 6 représente la fonction f en fonction de F_y pour plusieurs niveaux de μ , F_x
 20 constant (0 daN) et F_z constant (400 daN). On peut observer les trois zones de fonctionnement (Absence de glissement : zone 1, glissement partiel : zone 2, glissement total : zone 3).

Dans les cas correspondant aux zones 2 et 3, soit une fonction g telle que :
 25

$$\mu = g(F_x, F_y, F_z, N, \dots)$$

On peut par exemple la déterminer en utilisant une approche par réseau de neurones. Toutefois, toute autre méthode mathématique permettant d'inverser une fonction ou
 30 d'approcher son inverse est utilisable.

L'application d'une approche par réseaux de neurones à l'évaluation ci-dessus montre qu'il existe un domaine I d'efforts F_x , F_y , F_z dans lequel une telle fonction g existe. Ce domaine se caractérise physiquement de la façon suivante :

- Il existe une zone de glissement dans l'aire de contact, ce qui permet à μ d'avoir un effet sur N .
- Pour tout point de ce domaine, N varie de façon monotone avec μ à efforts F_x , F_y et F_z fixés.

La figure 7 représente une estimation du domaine I dans lequel il est possible d'obtenir une estimation directe du potentiel d'adhérence maxi. Ce domaine est constitué de la réunion des zones marquée A, B et C en excluant la zone où il n'y a pas de glissement partiel (zone elliptique autour de $F_x=0$ et $F_y=0$).

- La partie appelée A correspond à des situations où l'effort latéral est très important. Cette zone correspond par exemple à des virages très serrés.
- La partie appelée B est la plus fréquentée en utilisation normale du véhicule. Ce sont des situations de freinage et d'accélération légers combinés ou non avec un virage.
- Enfin, la zone C correspond à un freinage très appuyé.

Dans ce domaine I, il est possible de définir un réseau de neurones, de type perceptron, approchant la fonction inverse g . Concrètement, la détermination des poids du réseau de neurones peut se faire de la façon suivante :

- Constitution d'une base de données contenant F_x , F_y , F_z et N pour un ensemble de sollicitations du pneu sur des sols présentant des coefficients d'adhérence différents. Des combinaisons des paramètres (F_x , F_y , F_z et μ) sont imposées au pneu. Elles sont enregistrées en même temps que la valeur du couple d'auto-alignement N mesurée. Cette opération peut être réalisée soit sur une machine munie de différents sols et d'une mesure des efforts et de N , soit sur un véhicule équipé d'une roue dynamométrique qui mesure F_x , F_y , F_z et N en roulant sur différents sols.
- Détermination par apprentissage des poids d'un réseau de neurones permettant de reconstruire μ à partir de la connaissance de F_x , F_y , F_z et N .
- Test et utilisation de la fonction de transfert ainsi déterminée sur l'ensemble du domaine couvert par l'apprentissage.

Notons ici qu'une façon intéressante de réduire le nombre de paramètres d'entrée consiste à utiliser non pas les efforts F_x , F_y et F_z et N mais les valeurs réduites $\frac{F_x}{F_z}$, $\frac{F_y}{F_z}$, $\frac{N}{F_z}$. En procédant d'une manière semblable à celle détaillée précédemment, on

5 obtient alors une fonction h telle que $\mu = h\left(\frac{F_x}{F_z}, \frac{F_y}{F_z}, \frac{N}{F_z}, \dots\right)$

En ce qui concerne les composantes d'efforts F_x , F_y , F_z et le couple d'autoalignement N , on peut par exemple les déterminer de la façon suivante, en s'appuyant en partie sur des caractéristiques de parité remarquables qui correspondent aux symétries naturelles
10 du pneu pour réaliser cette séparation.

Le signal d'extension en fonction de l'azimut $s(\theta)$ peut alors se décomposer en deux signaux $s_p(\theta)$ et $s_i(\theta)$ tels que :

$$\begin{aligned} s(\theta) &= s_p(\theta) + s_i(\theta) \\ 15 \quad s_i(\theta) &= -s_i(-\theta) \\ s_p(\theta) &= s_p(-\theta) \end{aligned}$$

s_i est appelé partie impaire et s_p partie paire de s en azimut.

De même, soient $s^1(\theta)$ et $s^2(\theta)$ les signaux associés à la mesure de l'extension
20 circonférentielle sur chacun des flancs du pneu et S_p^1 , S_i^1 , S_p^2 , S_i^2 leurs décompositions en partie paire et impaire en azimut. On définit :

$$\begin{aligned} s_p^p(\theta) &= \frac{s_p^1(\theta) + s_p^2(\theta)}{2} \\ s_p^i(\theta) &= \frac{s_p^1(\theta) - s_p^2(\theta)}{2} \\ s_i^p(\theta) &= \frac{s_i^1(\theta) + s_i^2(\theta)}{2} \\ 25 \quad s_i^i(\theta) &= \frac{s_i^1(\theta) - s_i^2(\theta)}{2} \end{aligned}$$

s_p^p est appelée partie paire en flanc et paire en azimuth.

s_p^i est appelée partie impaire en flanc et paire en azimuth.

s_i^p est appelée partie paire en flanc et impaire en azimuth.

s_i^i est appelée partie impaire en flanc et impaire en azimuth.

5

Les efforts F_x , F_y , F_z et le couple d'auto-alignement N sont de par leurs orientations liés à certaines symétries. En particulier, on peut utiliser ce principe pour découpler les effets des composantes efforts sur le pneu.

10 Ainsi, d'après les observations (figures 8a, 8b, 9a, 9b, 10a et 10b) le signal :

- s_i^p est majoritairement lié à la force F_x .
- s_p^i est majoritairement lié à la force F_y
- s_p^p est majoritairement lié à la force F_z

15 Les symétries qui s'appliquent permettent de plus d'affirmer que le signal s_i^i est principalement lié au couple d'auto-alignement N .

Fort de ces observations, la méthode explicitée ici propose de réaliser des mesures de l'extension circonférentielle sur au moins un flanc du pneumatique. Ces mesures
20 permettent grâce à des opérations mathématiques (combinaisons linéaires ou non entre les mesures réalisées aux différents azimuths) d'estimer les valeurs des signaux s_i^p , s_p^i , s_p^p et s_i^i en certains azimuths et par là même de fournir une évaluation des composantes de la force appliquée.

25 Dans le but d'éclairer la démarche, on présente ici quelques exemples d'utilisation de la méthode qui ne sont pas exhaustifs. Considérons le cas où les mesures sont réalisées sur un flanc uniquement.

Détermination 1 :

30

On souhaite estimer les composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact et le couple d'auto-alignement à partir de mesures de l'extension circonférentielle d'un flanc

du pneumatique mesurée en trois azimuts. Les azimuts de mesure sont choisis de la manière suivante :

- Un des azimuts correspond au milieu de l'aire de contact (azimut 180°). Soit V_c la valeur mesurée à ce point. L'azimut qui correspond à l'opposé de l'aire de contact est utilisable de manière équivalente.
- Les deux autres azimuts sont symétriques par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact. ($180^\circ + \alpha^\circ$ et $180^\circ - \alpha^\circ$). Soient V_1 et V_2 les valeurs mesurées en ces points.

D'après les observations précédentes :

- $V_2 - V_1$ permet d'estimer le déséquilibre entre l'entrée d'aire de contact et la sortie. Cette valeur sera principalement liée à la composante F_x . Une estimation de F_x est donnée par $f_x(V_2 - rV_1)$ où r est un coefficient réel positif et f_x une fonction continue. Le coefficient r permet de prendre en compte une éventuelle dissymétrie de fonctionnement du capteur. Il est déterminé par exemple de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre F_x et $(V_2 - rV_1)$.
- $V_c - (V_1 + V_2)$ permet d'estimer la différence entre le passage dans l'aire de contact et l'extérieur de l'aire de contact. Le résultat est ici principalement lié à F_z . Une estimation de F_z est donnée par $f_z(V_c - (s_1V_1 + s_2V_2))$ où s_1, s_2 sont des coefficients réels positifs et f_z une fonction continue. Les coefficients s_1 et s_2 sont déterminés par exemple de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre F_z et $V_c - (s_1V_1 + s_2V_2)$.
- $V_c + V_1 + V_2$ donne une indication sur l'extension globale du flanc. Cette valeur sera principalement liée à la composante F_y de la force appliquée. Une estimation de F_y est donnée par $f_y(V_c + u_1V_1 + u_2V_2)$ où u_1 et u_2 sont des coefficients réels positifs et f_y une fonction continue. Les coefficients u_1 et u_2 sont déterminés par exemple de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre F_y et $V_c + u_1V_1 + u_2V_2$.

Dans cette détermination, on estime quatre composantes (F_x , F_y , F_z et N) à partir de trois mesures d'extension circonférentielle. En effet, il existe des cas où le couple d'auto-alignement est directement et uniquement dépendant des composantes F_x , F_y et F_z . On peut alors l'estimer aussi. Dans le cas où le couple d'auto-alignement dépend d'autres paramètres, il est nécessaire de mesurer l'extension circonférentielle des flancs en un nombre plus important d'azimuts.

Détermination 2 :

- 10 On souhaite estimer les composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact et le couple d'auto-alignement à partir de mesures de l'extension circonférentielle d'un flanc du pneumatique mesurée en cinq azimuts. Dans ce cas particulier, lesdites caractéristiques sont déduites d'au moins cinq mesures de variation de distance circonférentielle (extension ou contraction) effectuées dans au moins un flanc du pneu, en cinq points fixes dans l'espace, situés à des azimuts différents le long de la circonférence, puis ledit coefficient d'adhérence μ est déduit desdites caractéristiques. Les azimuts de mesure sont choisis de la manière suivante :
 - Un des azimuts correspond au milieu de l'aire de contact (azimut 180°). Soit V_c la valeur mesurée à ce point.
 - 20 • Deux autres azimuts sont symétriques par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact. ($180^\circ + \alpha^\circ$ et $180^\circ - \alpha^\circ$). Soient V_1 et V_2 les valeurs mesurées en ces points.
 - Les deux derniers azimuts sont symétriques par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact. ($180^\circ + \beta^\circ$ et $180^\circ - \beta^\circ$). Soient V_3 et V_4 les valeurs mesurées en ces points.
- 25 Des combinaisons de même nature mais un peu plus complexes que celles exposées dans l'exemple 1 permettent dans ce cas de déterminer les composantes F_x , F_y , F_z et N y compris dans les cas où le couple d'auto-alignement n'est pas uniquement dépendant des composantes F_x , F_y et F_z .
- 30 Considérons maintenant le cas où les mesures sont réalisées sur les deux flancs.

Détermination 3 :

On souhaite estimer les composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact et le couple d'auto-alignement à partir de mesures de l'extension circonférentielle des deux flancs du pneumatique mesurée en deux azimuts sur chaque flanc. Les azimuts de mesure sont choisis de façon symétrique par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact ($180^\circ + \alpha^\circ$ et $180^\circ - \alpha^\circ$). α doit être différent de α_0 pour pouvoir estimer F_z . Soient V_1^1 et V_2^1 les valeurs mesurées à ces azimuts sur le premier flanc, et V_1^2 et V_2^2 les valeurs mesurées à ces azimuts sur le second flanc.

10

Grâce à ces quatre valeurs, il est possible de déterminer les composantes en utilisant la décomposition suivant les parités en azimut et en flanc :

- $V_1^1 + V_1^2 + V_2^1 + V_2^2$ donne la composante paire en azimut et en flanc. Cette combinaison est donc directement liée à F_z . Une estimation de F_z est donnée par $f_z(a_1 V_1^1 + a_2 V_2^1 + b_1 V_1^2 + b_2 V_2^2)$ où a_1 , a_2 , b_1 et b_2 sont des réels positifs et f_z une fonction continue. Les coefficients a_1 , a_2 , b_1 et b_2 sont par exemple déterminés de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre F_z et $a_1 V_1^1 + a_2 V_2^1 + b_1 V_1^2 + b_2 V_2^2$.
- $V_1^1 + V_1^2 - (V_2^1 + V_2^2)$ donne la composante impaire en azimut et paire en flanc. Cette combinaison est donc directement liée à F_x . Une estimation de F_x est donnée par $f_x(c_1 V_1^1 - c_2 V_2^1 + d_1 V_1^2 - d_2 V_2^2)$ où c_1 , c_2 , d_1 et d_2 sont des réels positifs et f_x une fonction continue. Les coefficients c_1 , c_2 , d_1 et d_2 sont par exemple déterminés de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre F_x et $c_1 V_1^1 - c_2 V_2^1 + d_1 V_1^2 - d_2 V_2^2$.
- $V_1^1 - V_1^2 + (V_2^1 - V_2^2)$ donne la composante paire en azimut et impaire en flanc. Cette combinaison est donc directement liée à F_y . Une estimation de F_y est donnée par $f_y(e_1 V_1^1 + e_2 V_2^1 - f_1 V_1^2 - f_2 V_2^2)$ où e_1 , e_2 , f_1 et f_2 sont des réels positifs et f_y une fonction continue. Les coefficients e_1 , e_2 , f_1 et f_2 sont par exemple déterminés de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre F_y et $e_1 V_1^1 + e_2 V_2^1 - f_1 V_1^2 - f_2 V_2^2$.

- $V_1^1 - V_1^2 - (V_2^1 - V_2^2)$ donne la composante impaire en azimuth et impaire en flanc. Cette combinaison est donc directement liée à N . Une estimation de N est donnée par $f_n(g_1 V_1^1 - g_2 V_2^1 - h_1 V_1^2 + h_2 V_2^2)$ où g_1 , g_2 , h_1 et h_2 sont des réels positifs et f_n une fonction continue. Les coefficients g_1 , g_2 , h_1 et h_2 sont par exemple déterminés de manière à optimiser le coefficient de corrélation entre N et $g_1 V_1^1 - g_2 V_2^1 - h_1 V_1^2 + h_2 V_2^2$

Par ce type de disposition, on utilise au maximum les symétries du pneumatique et pouvons espérer une très bonne précision de la reconstruction des composantes de la sollicitation appliquée dans l'aire de contact.

10

Détermination 4 :

On souhaite estimer les composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact et le couple d'auto-alignement à partir de mesures de l'extension circonférentielle des deux flancs du pneumatique mesurée en trois azimuths sur chaque flanc. Les azimuths de mesure sont choisis de la manière suivante :

- Deux azimuths choisis de façon symétrique par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact ($180^\circ + \alpha^\circ$ et $180^\circ - \alpha^\circ$). Soient V_1^1 et V_2^1 les valeurs mesurées à ces azimuths sur le premier flanc, et V_1^2 et V_2^2 les valeurs mesurées à ces azimuths sur le second flanc
- Un azimuth correspondant au centre de l'aire de contact. Soient V_c^1 et V_c^2 les valeurs mesurées à ces azimuths.

Le traitement est similaire à celui de la détermination 3. Les valeurs V_c^1 et V_c^2 permettent une certaine redondance de l'information mais surtout une meilleure estimation de la composante F_z .

Dans le cas où α est pris égal à α_0 , on obtient l'information sur F_z grâce à V_c^1 et V_c^2 et l'information sur F_x , F_y et N par V_1^1 , V_1^2 , V_2^1 et V_2^2 . On utilise ainsi une possibilité supplémentaire de découplage des différentes contributions.

Avantageusement, dans le but d'affiner les estimations des composantes des efforts et de prendre en compte le fonctionnement non linéaire du pneu, la méthode décrite fait appel à des fonctions de transfert plus évoluées pour relier les mesures aux estimations des efforts. Toute fonction d'interpolation permettant d'établir un lien entre les grandeurs mesurées et les valeurs des composantes de la sollicitation appliquée peut être
5 utilisée dans ce cadre.

Bien que tous les exemples listés ici utilisent des azimuts de mesure choisis pour tirer parti au mieux des symétries du pneu et faciliter la reconstruction, le choix de la position de azimuts auxquels les valeurs sont mesurées est libre (la symétrie des azimuts
10 n'est pas en soi obligatoire) car toute combinaison d'un nombre suffisant de mesures permet une estimation des composantes de la sollicitation appliquée. Il est possible, dans ce cas de rechercher directement les fonctions donnant les composantes F_x , F_y , F_z et N en fonction des mesures d'extension circonférentielle du ou des flancs en des azimuts connus. La détermination des fonctions de transfert n'est plus nécessairement
15 basée sur l'analyse de la mécanique du pneumatique mais sur la réponse du pneumatique en terme d'extension circonférentielle du ou des flancs aux efforts qu'il subit.

Que les azimuts de mesure soient choisis grâce à une analyse physique ou décidés de manière plus arbitraire, les réseaux de neurones semblent bien adaptés pour établir une fonction de transfert entre les mesures réalisées et les composantes des efforts F_x , F_y , F_z et N . Parmi les schémas les plus simples applicables, on peut retenir l'utilisation de réseaux à une couche de neurones cachés et une couche de neurones de sortie. Ces
25 neurones cachés utilisent une fonction de transfert sigmoïde. Les neurones de sortie utilisent quant à eux une fonction de transfert linéaire (figure 11). La propriété de parcimonie de ce type de réseau employé comme approximateur est ici très intéressante. Il est possible d'utiliser un réseau par composante à estimer ou un réseau permettant grâce à plusieurs sorties d'estimer toutes les composantes.

30 Si les azimuts de mesure ont été choisis de manière à tirer parti des symétries ou de remarques physiques, il peut être intéressant de réaliser des combinaisons linéaires entre

les grandeurs avant l'entrée dans le réseau. Dans ce cas, une analyse en composantes principales permettra de déterminer de façon judicieuse les coefficients de ces combinaisons et simplifiera le réseau de neurones nécessaire. On obtient l'architecture décrite sur la figure 12.

5

Concrètement, on opère de la façon suivante :

- La première étape consiste après avoir déterminé les azimuts de mesure à recueillir les valeurs de l'extension circonférentielle du ou des flancs lors de sollicitations variées du pneumatique choisies de façon à couvrir tout le domaine dans lequel l'évaluation des efforts sera permise en utilisation normale. Les sollicitations choisies doivent aussi mettre en œuvre tous les couplages susceptibles d'être rencontrés lors d'une utilisation normale. L'ensemble de valeurs mesurées et des efforts associés (obtenus par un autre moyen de mesure) constitue la base d'apprentissage.
- La seconde étape consiste à réaliser l'apprentissage des poids du réseau sur la base ainsi constituée. A l'issue de cette phase, on dispose des fonctions de transfert.
- Une troisième étape consiste à tester les fonctions de transfert en confrontant les estimations des composantes d'effort aux efforts indiqués par un autre moyen de mesure.

20

Outre les réseaux de neurones, il est possible d'employer par exemple des fonctions polynomiales.

Naturellement, bien d'autres variables (en plus des mesures d'extension circonférentielle) peuvent être prises en compte selon le même principe pour améliorer l'efficacité de cette détermination (par exemple, la pression ou la température du pneumatique).

De manière générale, le nombre de points de mesure peut être plus important que les configurations minimales présentées dans les exemples et permettre un résultat plus précis ou plus sûr du fait de la redondance des informations disponibles.

La mesure de l'extension circonférentielle du ou des flancs du pneumatique peut se faire de n'importe quelle manière, par un dispositif externe ou un dispositif interne au pneu. A titre d'exemple, on décrit ici pour réaliser la mesure de l'extension circonférentielle l'utilisation d'un ou de capteurs placés dans le pneu et donc entraînés en rotation par le pneu.

Ce ou ces capteurs intégrés au pneu, par exemple dans un flanc du pneu, et mesurant localement l'extension circonférentielle du ou des flancs peuvent faire appel à n'importe quel principe physique de mesure. Il peut par exemple s'agir de capteurs diélectriques mesurant une variation de capacité liée à la distance qui sépare deux électrodes. Les électrodes peuvent être constituées d'un fil conducteur placé de manière radiale dans le flanc. Cette disposition permet une mesure de « l'écart fils » par mesure de la capacité entre les électrodes. S'il est actif, le capteur peut être alimenté soit par le véhicule par téléalimentation soit par une batterie embarquée sur la roue ou dans le pneu ou par tout autre moyen. Tout est aussi possible en ce qui concerne la transmission de l'information vers le véhicule, par voie radio ou autre. Le capteur en lui même doit pouvoir fournir une information en continu ou avec une fréquence de rafraîchissement suffisamment rapide par rapport à la période de rotation de la roue.

Cette approche utilisant un capteur intégré au pneu a l'avantage de permettre une connaissance de l'extension circonférentielle du ou des flancs à tous les azimuts du pneumatique puisque un capteur, entraîné par le pneu, explore l'ensemble des azimuts lors d'une rotation de la roue.

La méthode de reconstruction des composantes des efforts étant basée sur la mesure de l'extension circonférentielle à certains azimuts, se pose le problème de la localisation du capteur pour extraire les valeurs aux bons azimuts.

Le capteur est interrogé à une fréquence constante et connue. Il délivre donc un signal temporel de la variation de l'extension circonférentielle locale. Un signal mesuré est présenté en figure 13. Sur ce signal temporel, On reconnaît aisément la signature d'un tour de roue que l'on a observée précédemment (figures 1, 8a, 8b, 9a et 9b). Outre la

signature de chaque tour de roue, ce signal est bruité. La première opération consiste à réduire ce bruit en appliquant un filtre passe bas dont la fréquence de coupure peut être liée à la vitesse de rotation de la roue.

5 Plusieurs cas de figure peuvent alors se présenter suivant les équipements disponibles :

- Si l'on dispose d'une mesure de la position angulaire de la roue, il est possible de connaître les instants auxquels le capteur passe à l'azimut de mesure. La lecture des valeurs mesurées à ces instants fournit la valeur de l'extension circonférentielle aux azimuts désirés. Cette mesure de la position angulaire de la roue peut, par exemple
10 être obtenue par un comptage des transitions d'un capteur ABS de vitesse de rotation de la roue.
- Si aucun dispositif externe n'est disponible pour faciliter la localisation du capteur, on ne peut utiliser que le signal du capteur lui-même. L'invention propose d'utiliser le signal du capteur pour estimer la position angulaire de la roue.

15

Chaque passage du capteur dans l'aire de contact a pour signature une très forte extension circonférentielle des flancs du pneumatique. En utilisant cette observation, il est possible de trouver les instants où le capteur passe au centre de l'aire de contact. La méthode la plus simple pour réaliser cette opération consiste à réaliser un seuillage du
20 signal filtré et à rechercher les maxima parmi les valeurs supérieures à ce seuil (figure 14). Cette approche permet de ne pas détecter les maxima qui ne correspondent pas au passage dans l'aire de contact.

A chaque détermination d'un nouveau passage dans l'aire de contact, la connaissance
25 des instants des derniers passages (au moins 3 passages) permet d'estimer la vitesse de rotation de la roue et son accélération. Grâce à ces estimations, il est possible de reconstruire une évaluation de l'azimut auquel le capteur se trouve en fonction du temps. Il devient alors possible d'extraire des mesures en fonction du temps les valeurs à certains azimuts.

30

Plusieurs possibilités s'offrent alors pour la mise en œuvre de la mesure. En effet, la détermination des composantes des efforts nécessite des mesures à plusieurs azimuts.

Une première approche consiste à n'utiliser qu'un capteur sur chaque flanc pour lequel on souhaite avoir des mesures. A chaque passage à une position requise, la valeur donnée par le capteur est prise en compte pour rafraîchir la mesure à l'azimut considéré.

- 5 En faisant l'hypothèse que les composantes des efforts varient lentement par rapport à la vitesse de rotation de la roue, un seul capteur permet ainsi d'obtenir les mesures à tous les azimuts nécessaires à la reconstruction des efforts. La figure 15 présente ce type de fonctionnement avec un modèle (fonction de transfert) qui nécessite des mesures à trois azimuts (0° , 120° et 240°).

10

Une deuxième approche consiste à disposer plusieurs capteurs sur la circonférence de façon à ce qu'au moins une fois par tour les capteurs se trouvent simultanément aux azimuts auxquels on désire réaliser une mesure. Il est ainsi possible d'obtenir une image de la déformation du pneu en différents azimuts à un instant donné ce qui ne nécessite plus que les efforts varient lentement par rapport à la rotation de la roue. Une variante de cette approche consiste à disposer les capteurs de manière équi-répartie autour du pneu. Ainsi, dans le cas où l'on a placé N capteurs, la situation où les capteurs sont bien positionnés se produit au moins N fois par tour. La figure 16 présente ce type de fonctionnement avec trois capteurs qui tombent trois fois par tour sur les azimuts où la mesure doit être réalisée (0° , 120° et 240°).

20

Enfin, il est possible de mixer les approches précédentes.

L'augmentation du nombre de capteurs permet en particulier :

- 25
- d'augmenter la fréquence de rafraîchissement de l'estimation des efforts,
 - d'augmenter la robustesse vis à vis des variations rapides des composantes des efforts appliqués dans l'aire de contact.

Notons que plusieurs modèles peuvent être déterminés qui prennent en entrée les mesures à des azimuts différents. Même avec un unique capteur, il est ainsi possible d'obtenir plusieurs estimations à chaque tour de roue. La figure 17 donne un exemple

30

dans lequel trois capteurs sont utilisés. Deux fonctions de transfert sont déterminées. La première utilise des mesures à 0° , 120° et 240° , la seconde à 60° , 180° et 300° . Lorsque les capteurs tombent sur les positions de mesures désirées, la fonction de transfert peut être appliquée. En gérant convenablement les capteurs, il est même possible dans ce

5 type de disposition de réaliser une estimation des efforts 6 fois par tour de roue. Ces estimations par plusieurs modèles peuvent être moyennées ou confrontées pour augmenter la précision et diminuer le bruit dans l'estimation des efforts.

Revenons au domaine D. Celui-ci est plus ou moins étendu selon les pneus (et pouvant

10 même ne pas exister) sur la figure 7 correspond à une zone où il peut exister plusieurs quadruplets (F_x, F_y, F_z, μ) dont l'image par f est le même couple d'auto-alignement N . Il n'est par conséquent pas possible de trouver directement une fonction inverse g sur ce domaine.

15 Il est néanmoins possible, en utilisant une technique de codage (par exemple une technique de codage semi-distribué), de proposer plusieurs valeurs de μ lorsqu'un quadruplet F_x, F_y, F_z, N de ce domaine est rencontré. A chaque valeur de μ proposée, on peut alors associer une probabilité. Si elles permettent d'améliorer les résultats, ces méthodes présentent toujours le problème du choix de la bonne valeur de μ à retenir.

20

Des propriétés de continuité dans le temps peuvent aider à choisir. Imaginons que, au cours du temps, le point de fonctionnement de l'ensemble monté passe du domaine C au domaine B puis D (figure 7). Dans les domaines C et B, l'estimation de μ était proche de μ_1 . Imaginons que, dans le domaine D, on soit subitement confronté à deux valeurs

25 possibles de μ . Par continuité, on peut choisir la valeur la plus proche de μ_1 en faisant l'hypothèse que le sol n'évoluerait pas si rapidement. Toutefois, si l'indétermination subsiste après quelques évaluations supplémentaires, il se peut réellement que le sol ait changé. Dans ce cas, on ne peut écarter la valeur différente de μ_1 . Il est alors à nouveau nécessaire de faire un choix.

30

Comme on le voit, l'existence dans certains cas de ce domaine non inversible peut rendre la méthode exposée précédemment difficile à utiliser (par exemple pour des

raisons de sécurité). Des méthodes levant à coup sur cette indétermination sont par conséquent particulièrement intéressantes.

Le déplacement du point d'application des forces dans l'aire de contact peut avoir lieu
 5 suivant la direction X d'une valeur dx ou la direction Y d'une valeur dy . Le fait de ne mesurer que F_x , F_y , F_z et N ne permet pas de déterminer indépendamment dx et dy . Il en résulte une indétermination sur la position, indétermination qui peut créer le problème de non inversibilité.

10 On a pu montrer que la connaissance d'informations supplémentaires permettrait de rendre le domaine D inversible. Considérons par exemple l'approche suivante. Le couple d'auto-alignement N peut se décomposer de la manière suivante :

$$N = F_y \cdot dx - F_x \cdot dy = N_y - N_x,$$

dx et dy étant les coordonnées du point d'application de la résultante des forces F_x
 15 et F_y .

Le fait d'utiliser N_x et N_y à la place de N permet de trouver une fonction définie sur l'ensemble du domaine de sollicitations créant un glissement partiel donnant une estimation de μ . Il n'y a dans ce cas aucune ambiguïté sur les valeurs de μ dans tout le
 20 domaine. Connaître à la fois N_x , N_y et les efforts permet de localiser le point d'application des forces dans l'aire de contact (les valeurs dx et dy ci-dessus) et d'en déduire μ .

Pour obtenir les valeurs de N_x et N_y , on peut par exemple mesurer les trois couples L ,
 25 M , N . (L : moment autour de l'axe X, M autour de l'axe Y et N autour de Z). les valeurs de dx et de dy sont alors obtenues comme solution d'un système linéaire. En effet, si dx , dy et dz sont les coordonnées du point d'application de la force, on peut écrire :

$$L = F_z \cdot dy - F_y \cdot dz$$

$$M = F_x \cdot dz - F_z \cdot dx$$

30 $N = F_y \cdot dx - F_x \cdot dy$

En considérant l'angle de carrossage comme petit, dz est très fortement lié à la charge F_z du pneumatique. Il est aussi possible de prendre en compte les corrections à introduire en fonction des efforts F_x et F_y appliqués. Pour un pneumatique donné dans des conditions connues (pression) le lien $dz = f(F_x, F_y, F_z, P)$ est connu avec une assez
 5 bonne précision par exemple par l'intermédiaire d'une fonction d'approximation tel un réseau de neurones.

Dans le cas d'une sollicitation principalement dans la direction F_x , on utilise la seconde relation pour obtenir $dx = \frac{F_x.dz - M}{F_z}$. dy est alors obtenu par la troisième

10 relation $dy = \frac{F_y.dx - N}{F_x}$.

Dans le cas d'une sollicitation principalement dans la direction F_y , on utilise la première relation pour obtenir $dy = \frac{L + F_y.dz}{F_z}$. dx est alors obtenu par la troisième relation

$$dx = \frac{N + F_x.dy}{F_y}.$$

Dans le cas de sollicitations couplées, il est possible d'utiliser l'une ou l'autre des
 15 relations ou les deux de manière à augmenter la précision. Connaissant dx et dy , l'éventuelle indétermination est levée.

D'autres grandeurs permettent de lever cette indétermination. En particulier, il est possible d'utiliser la mesure de l'extension circonférentielle des flancs du pneu pour
 20 estimer le potentiel d'adhérence maxi. En effet, comme déjà vu précédemment, l'évaluation du potentiel maxi d'adhérence utilise le positionnement du point d'application des forces F_x et F_y . Ce point d'application se déplace dans l'aire de contact en fonction du potentiel d'adhérence, en provoquant une modification de l'extension circonférentielle. La mesure de l'extension circonférentielle des flancs en
 25 plusieurs azimuts permet d'obtenir le module des forces appliquées (mesure des efforts globaux); elle permet aussi l'estimation de leur point d'application et donc du coefficient d'adhérence maxi.

Parmi les nombreuses variantes possibles pour la mesure de l'extension circonférentielle, notons les approches suivantes :

- La mesure de l'extension circonférentielle des flancs par capteur(s) intégrés au(x) flanc(s) du pneu. Un tel capteur tourne avec le pneu, il parcourt donc tous les azimuts et, si l'on sait le positionner, il permet une mesure en tous les azimuts. Il est possible dans ce cas, pour disposer des valeurs d'extension circonférentielle en plusieurs azimuts, d'utiliser une hypothèse de stationnarité des efforts et de μ pendant une portion de tour de roue pour utiliser les valeurs données par un même capteur en différents azimuts (gain sur le nombre de capteurs) ou il est possible de privilégier le temps de réponse et d'équiper le pneu de plusieurs capteurs placés à différents azimuts. Tout panachage est bien sur possible.
- La mesure de l'extension circonférentielle des flancs par capteur(s) externe(s) au pneu. Dans ce cas, des capteurs externes au pneu observent les flancs et permettent la mesure de l'extension circonférentielle. Il faut a priori autant de capteurs que d'azimuts à observer.

Dans tous les cas, la méthode proposée pour estimer le coefficient d'adhérence maxi nécessite de solliciter le pneu par des efforts F_x , F_y ou les deux combinés. En effet, il est absolument nécessaire qu'il existe une zone de glissement dans l'aire de contact pour que la démarche présentée s'applique. Grâce à cette méthode, on est certain d'avoir une estimation de la limite d'adhérence avant de l'atteindre. Toutefois, lorsque le pneu est très peu sollicité, l'estimation est imprécise ou fausse (absence de glissement de l'aire de contact). Pour cette raison, il est proposé de s'intéresser au pourcentage de potentiel d'adhérence utilisé défini de la façon suivante :

$$p_u = \frac{\mu_{\text{utilisé}}}{\mu} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{\mu \cdot F_z}$$

Cette grandeur présente l'intérêt d'être plus facilement correctement estimée en grandeur absolue quelle que soit la sollicitation, même faible, appliquée au pneu. On l'obtient de manière directe par exemple par un réseau de neurones en appliquant la démarche présentée pour l'estimation de μ . La figure 19 présente un exemple de

reconstruction du potentiel d'adhérence maxi et du pourcentage de potentiel utilisé. Le couple moteur ou freineur (glissement lié à F_x) et la force transversale (dérive liée à F_y) varient au cours du temps ainsi que le sol sur lequel roule le véhicule. La charge F_z est imposée. Lorsque la sollicitation du pneu est faible (F_x et F_y faibles simultanément) par exemple au temps 4 s, la qualité de l'estimation du potentiel d'adhérence maxi chute. L'estimation du pourcentage de potentiel utilisé reste quant à elle tout à fait correcte.

Dans le cadre d'une utilisation par un système embarqué dans un véhicule (système mécatronique, par exemple de type ESP ou ABS), il est intéressant de disposer d'une grandeur définie sur tout le domaine d'utilisation. Il est par exemple envisageable d'utiliser le pourcentage de potentiel d'adhérence utilisé pour affiner les mécanismes de régulation des systèmes ABS ou ESP.

REVENDICATIONS

- 5 1. Méthode de détermination des caractéristiques formées par les trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et le couple d'auto-alignement généré par le pneu, et par le coefficient d'adhérence μ dans l'aire de contact d'un pneu sur une chaussée, comportant les étapes suivantes :
- 10 • sélectionner plusieurs points fixes dans l'espace, situés à des azimuts différents le long de la circonférence dans au moins un flanc du pneu,
- effectuer autant de mesures de variation de distance circonférentielle (extension ou contraction) à ces points fixes lorsque le pneu roule sur la chaussée
- traiter les signaux de mesure de façon à en extraire les trois composantes d'une
- 15 résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et le couple d'auto-alignement généré par le pneu,
- traiter les signaux d'évaluation des trois composantes d'une résultante d'efforts exercés par la chaussée sur l'aire de contact d'un pneumatique et du couple d'auto-alignement généré par le pneu de façon à en extraire ledit coefficient
- 20 d'adhérence μ .
2. Méthode selon la revendication 1, dans laquelle lesdites caractéristiques sont déduites d'au moins cinq mesures de variation de distance circonférentielle (extension ou contraction) effectuées dans au moins un flanc du pneu, en cinq points
- 25 fixes dans l'espace, situés à des azimuts différents le long de la circonférence, puis ledit coefficient d'adhérence μ est déduit desdites caractéristiques.
3. Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la mesure de la variation circonférentielle est effectuée par au moins un capteur intégré dans un flanc du
- 30 pneu, le signal délivré par ledit capteur étant traité pour relever sa valeur en plusieurs azimuts correspondant auxdits points fixes.

4. Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce que la mesure de la variation circonférentielle est effectuée par autant de capteurs que d'azimuts à observer, les capteurs étant externes au pneu et disposés dans l'espace fixe.
- 5 5. Méthode selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que l'on établit une fonction de transfert entre les mesures, les caractéristiques et le coefficient d'adhérence maxi par les étapes suivantes :
- constitution d'une base de données contenant F_x , F_y , F_z , N et μ pour un ensemble de sollicitations du pneu sur des sols présentant des coefficients
 - 10 d'adhérence différents, les paramètres F_x , F_y , F_z et μ étant imposées au pneu, la valeur du couple d'auto-alignement N étant mesurée,
 - détermination par apprentissage des poids d'un réseau de neurones permettant de reconstruire μ à partir de la connaissance de F_x , F_y , F_z et N .
- 15 6. Méthode selon l'une des revendications 1 à 4, caractérisée en ce que l'on établit une fonction de transfert entre les mesures, les caractéristiques et le coefficient d'adhérence maxi par les étapes suivantes :
- constitution d'une base de données contenant F_x , F_y , F_z , N et μ pour un ensemble de sollicitations du pneu sur des sols présentant des coefficients
 - 20 d'adhérence différents, les paramètres F_x , F_y , F_z et μ étant imposées au pneu, la valeur du couple d'auto-alignement N étant mesurée,
 - calcul des valeurs réduites $\frac{F_x}{F_z}$, $\frac{F_y}{F_z}$, $\frac{N}{F_z}$,
 - détermination par apprentissage des poids d'un réseau de neurones permettant de reconstruire μ à partir de la connaissance de $\frac{F_x}{F_z}$, $\frac{F_y}{F_z}$, $\frac{N}{F_z}$.
- 25 7. Méthode selon l'une des revendications 1 à 4 dans laquelle, étant posé que
- $$N = F_y \cdot dx - F_x \cdot dy = N_y - N_x$$
- où dx est la distance du point d'application de la force F_y au plan vertical passant par le centre de l'aire de contact et orthogonal à l'axe X ,

où dy est la distance du point d'application de la force F_x au plan vertical passant par le centre de l'aire de contact et orthogonal à l'axe Y ,
 les valeurs de N_x et N_y sont obtenues à partir des mesures des trois couples L , M , N ,
 L étant le moment autour de l'axe X , M le moment autour de l'axe Y et N le
 5 moment autour de Z .

8. Méthode selon la revendication 5 ou 6, utilisant un réseau de neurones du type perceptron.
- 10 9. Méthode selon l'une des revendications 1 à 8, caractérisée en ce que l'on estime la variation circonférentielle par la mesure de la distance entre les fils de la nappe carcasse dans les flancs.
10. Méthode selon l'une des revendications 1 à 9, caractérisée en ce que l'on estime la
 15 variation circonférentielle par la mesure de la distance entre des fils formant un capteur mesurant une variation de capacité liée à la distance qui sépare deux électrodes.
11. Méthode selon l'une des revendications 1 à 10, caractérisée en ce que l'on estime en
 20 outre les efforts F_x , F_y , F_z et l'on détermine le pourcentage de potentiel d'adhérence utilisé de la façon suivante :

$$p_u = \frac{\mu_{\text{utilisé}}}{\mu} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2}}{\mu \cdot F_z}$$

12. Méthode selon la revendication 1, caractérisée en ce qu'on utilise au moins trois
 25 points fixes dans l'espace définis tels que :
 - un des points corresponde à l'azimut du centre de l'aire de contact ou l'azimut du point opposé à l'aire de contact ;
 - les deux autres points soient symétriques par rapport à un plan vertical passant par le centre de l'aire de contact.

13. Méthode selon la revendication 1 dans laquelle, les azimuts de mesure étant choisis de façon symétrique par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact ($180^\circ + \alpha^\circ$ et $180^\circ - \alpha^\circ$), avec α différent de α_0 , où α_0 est l'azimut en entrée de l'aire de contact, V_1^1 et V_2^1 étant les valeurs mesurées à ces azimuts sur le premier flanc, et V_1^2 et V_2^2 les valeurs mesurées à ces azimuts sur le second flanc, :
- $f_z(a_1 V_1^1 + a_2 V_2^1 + b_1 V_1^2 + b_2 V_2^2)$ où a_1 , a_2 , b_1 et b_2 sont des coefficients réels positifs et f_z une fonction continue est une estimation de la composante F_z ,
 - $f_x(c_1 V_1^1 - c_2 V_2^1 + d_1 V_1^2 - d_2 V_2^2)$ où c_1 , c_2 , d_1 et d_2 sont des coefficients réels positifs et f_x une fonction continue, est une estimation de la composante F_x ,
 - $f_y(e_1 V_1^1 + e_2 V_2^1 - f_1 V_1^2 - f_2 V_2^2)$ où e_1 , e_2 , f_1 et f_2 sont des coefficients réels positifs et f_y une fonction continue est une estimation de la composante F_y ,
 - $f_n(g_1 V_1^1 - g_2 V_2^1 - h_1 V_1^2 + h_2 V_2^2)$ où g_1 , g_2 , h_1 et h_2 sont des coefficients réels positifs et f_n une fonction continue est une estimation du couple d'auto-alignement N .
14. Méthode selon la revendication 1 dans laquelle, les azimuts de mesure étant choisis de façon symétrique par rapport à l'azimut du centre de l'aire de contact ($180^\circ + \alpha^\circ$ et $180^\circ - \alpha^\circ$), avec α différent de α_0 , où α_0 est l'azimut en entrée de l'aire de contact, et V_1 et V_2 étant les valeurs mesurées en ces autres azimuts,
- $f_x(V_2 - r V_1)$ où r est un coefficient réel positif et f_x une fonction continue est une estimation de F_x ,
 - $f_z(V_c - (s_1 V_1 + s_2 V_2))$ où s_1 et s_2 sont des coefficients réels positifs et f_z une fonction continue est une estimation de F_z ,
 - $f_y(V_c + u_1 V_1 + u_2 V_2)$ où u_1 et u_2 sont des coefficients réels positifs et f_y une fonction continue est une estimation de F_y ,

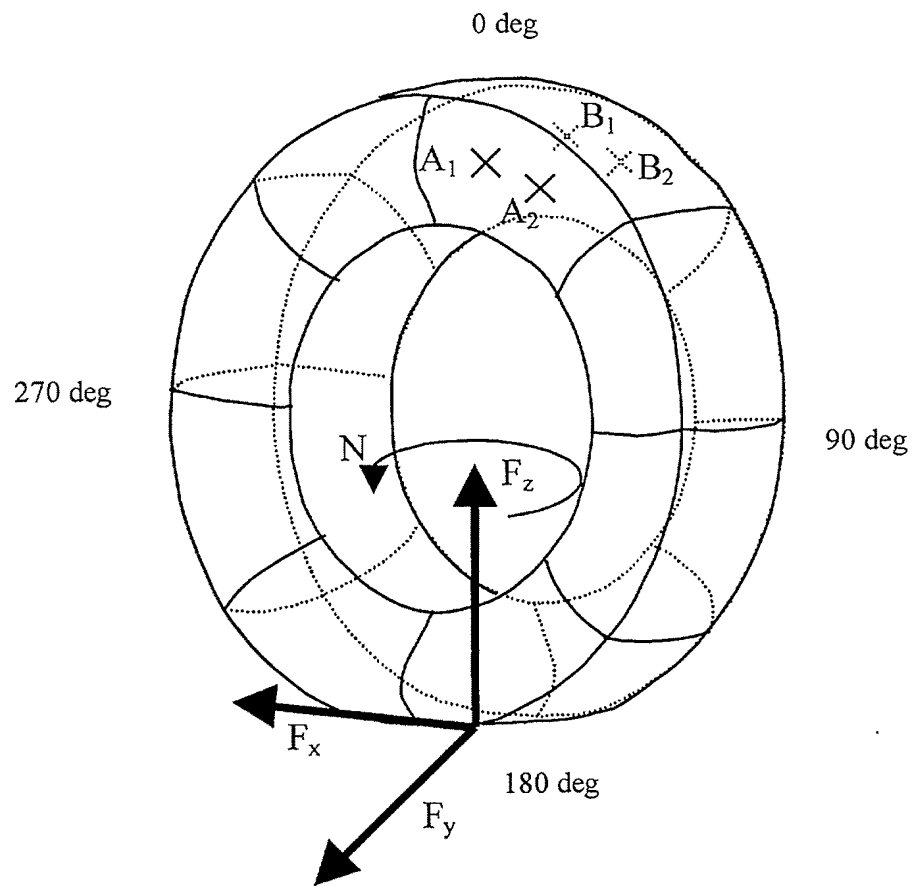


Figure 1

Figure 2

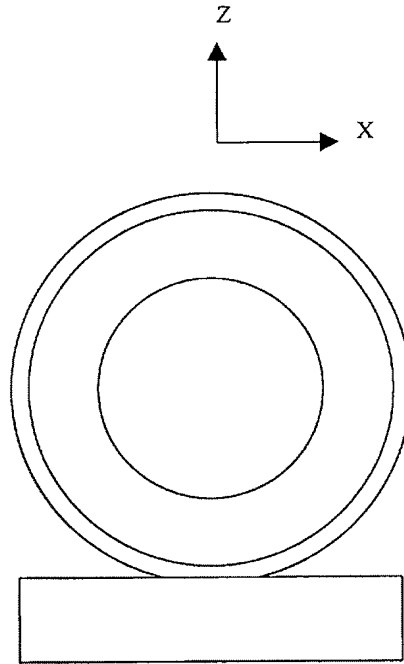
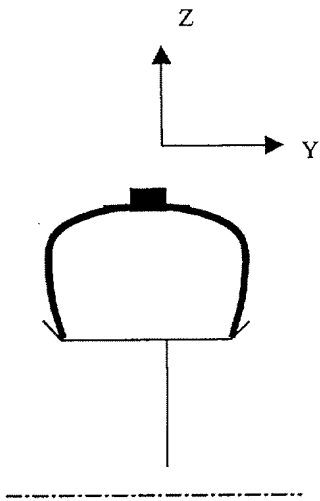


Figure 3

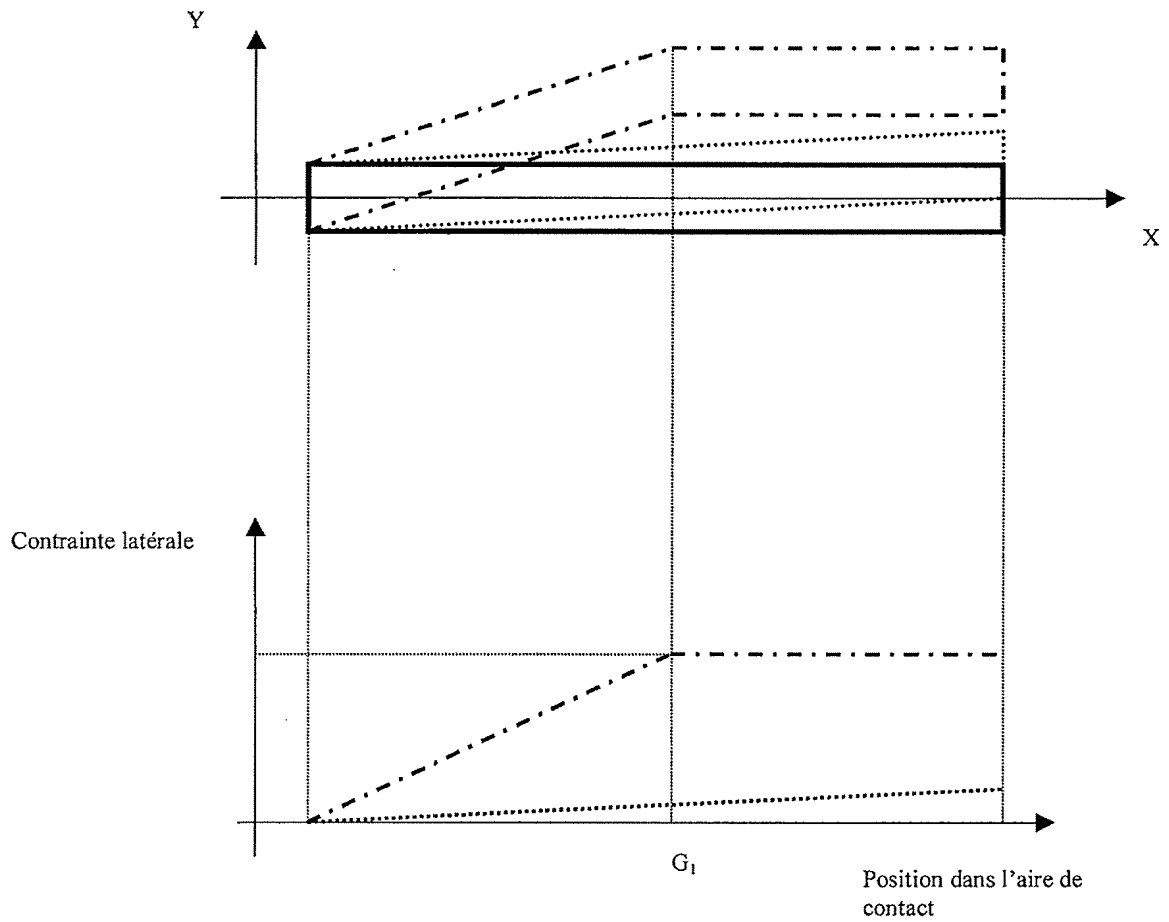


Figure 4

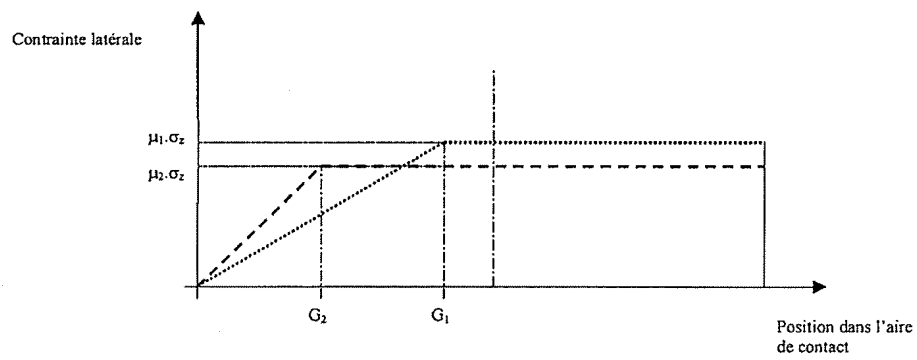


Figure 5

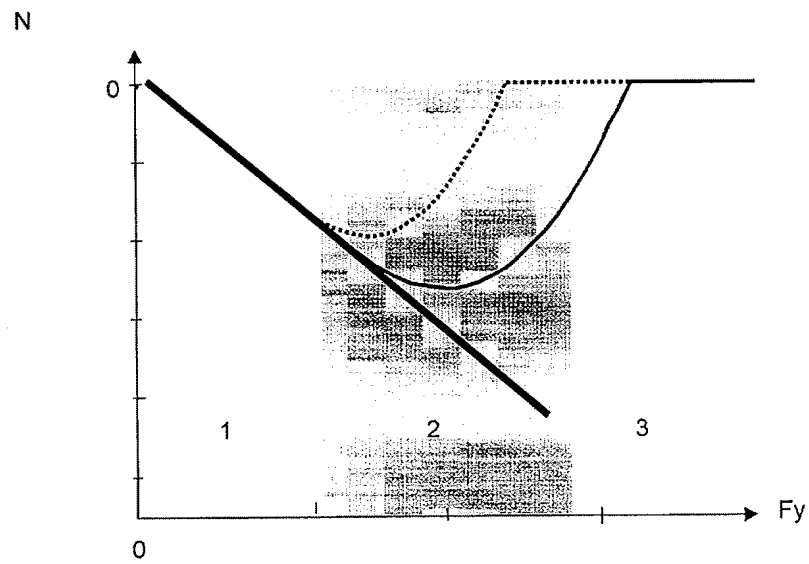


Figure 6

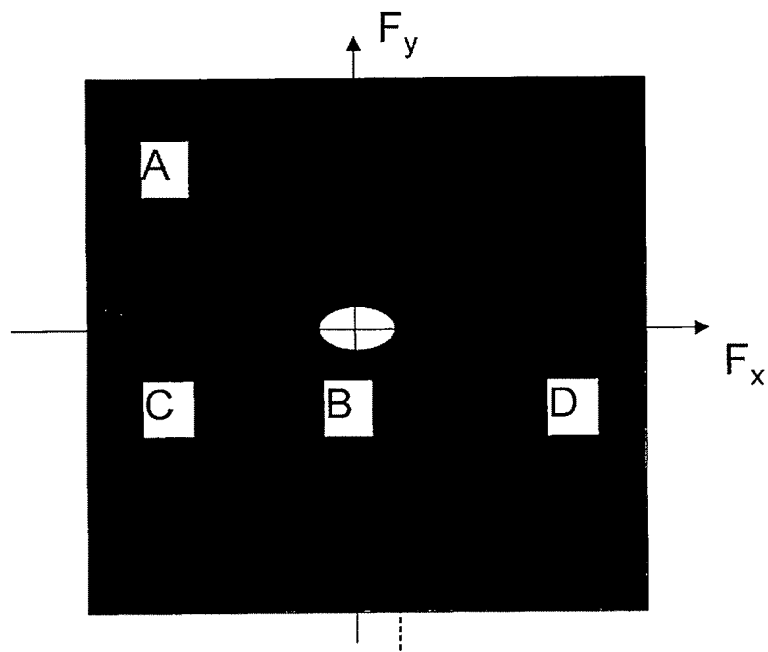


Figure 7

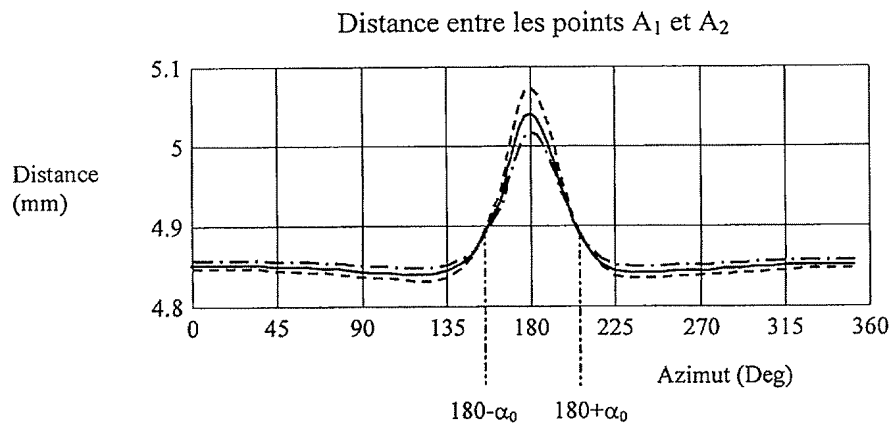


Figure 8a

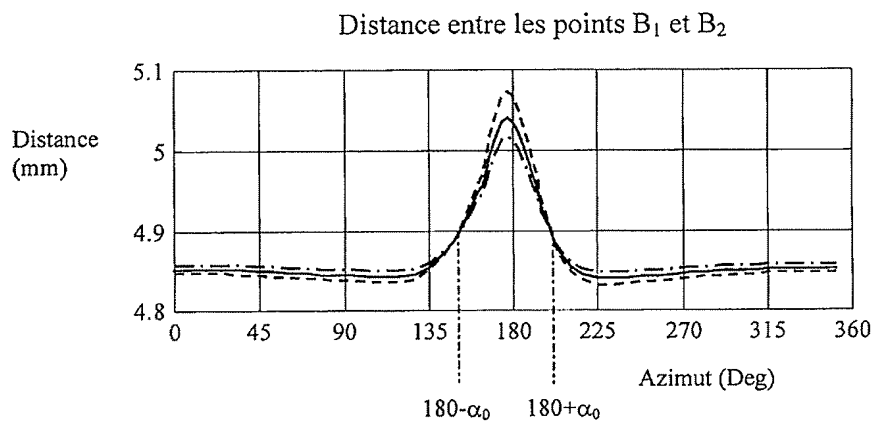
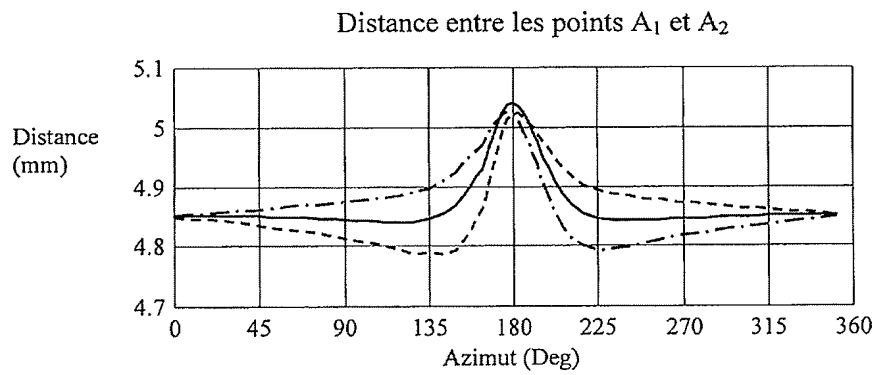
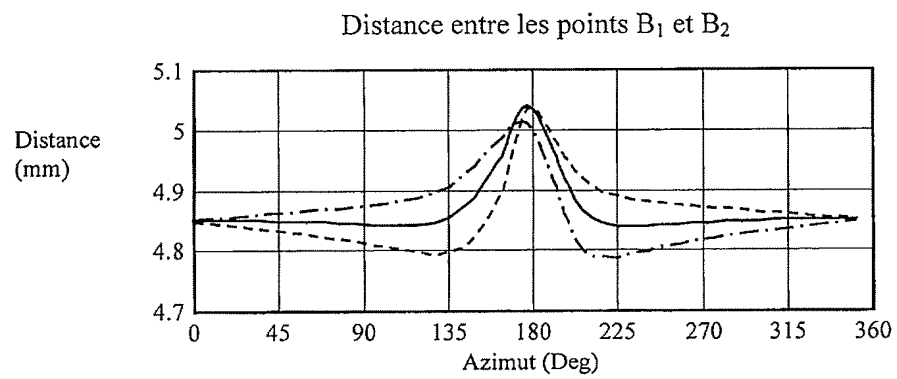
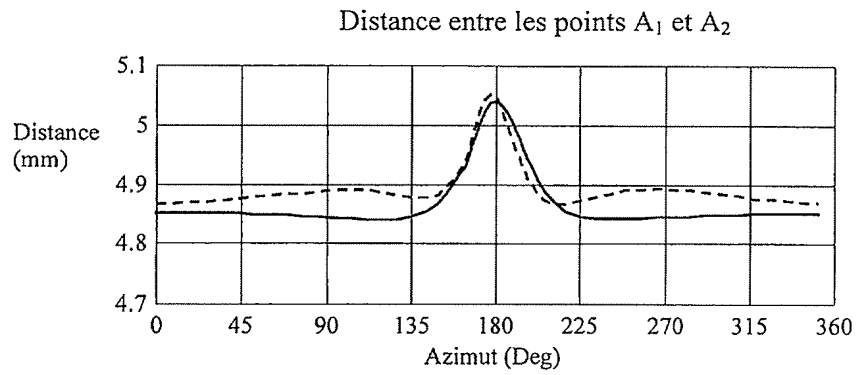
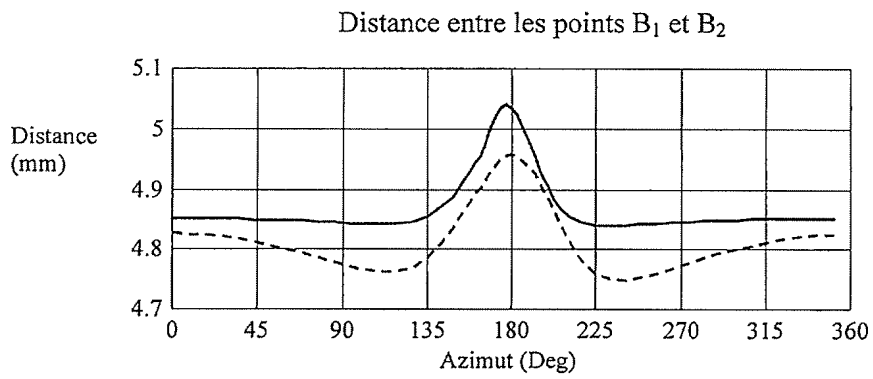


Figure 8b

**Figure 9a****Figure 9b**

**Figure 10a****Figure 10b**

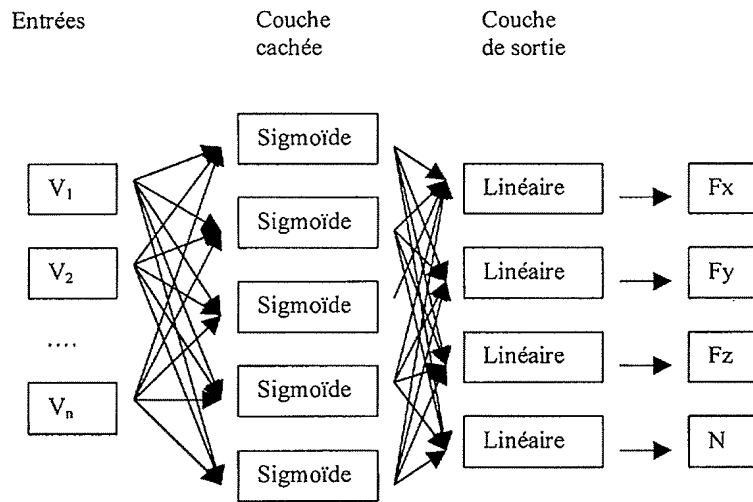


Figure 11

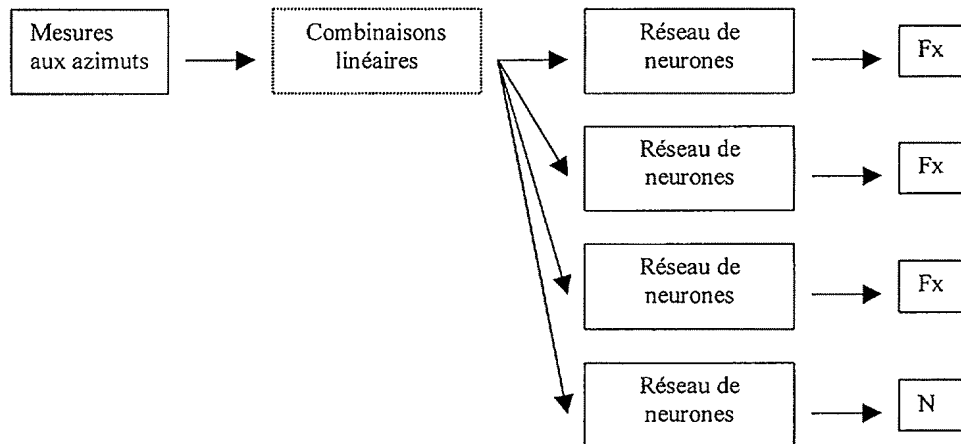
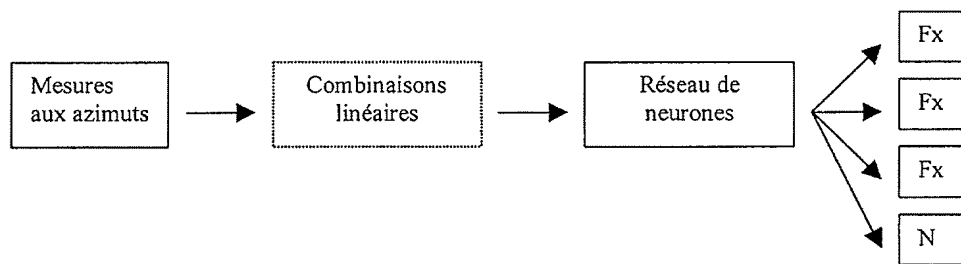
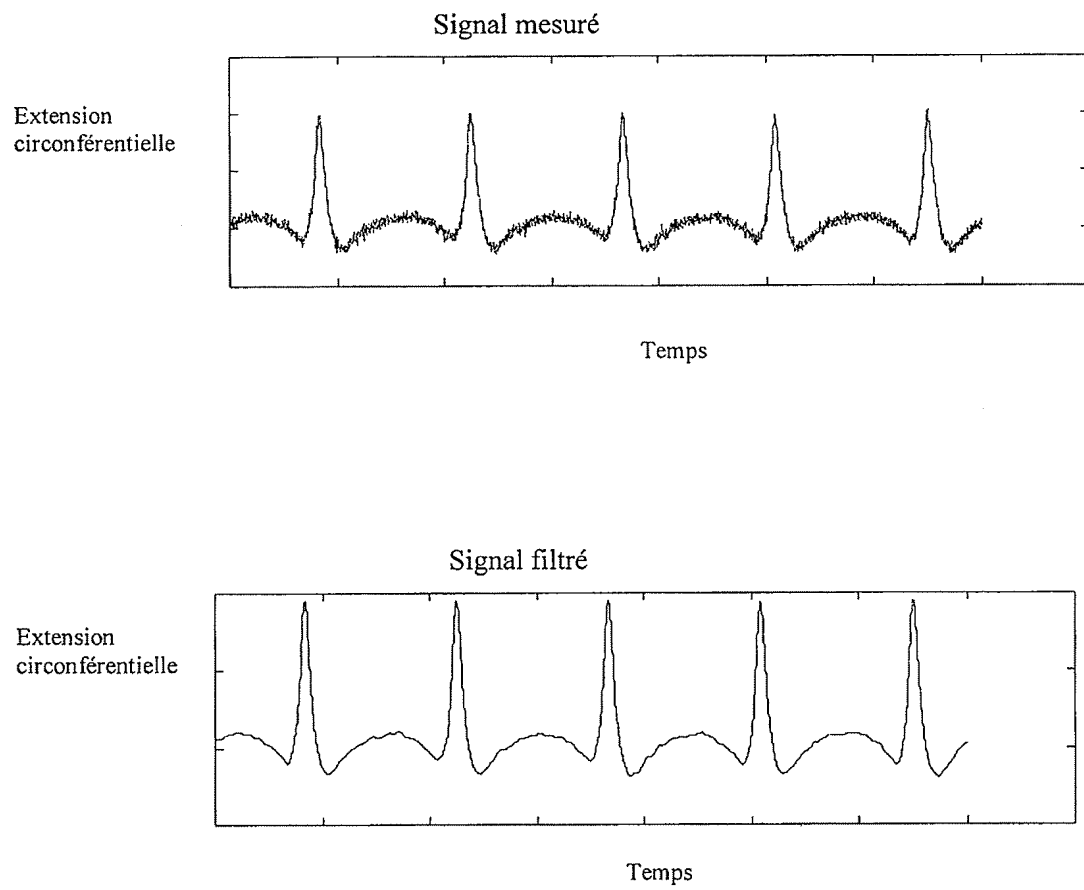


Figure 12

**Figure 13**

Principe du seuillage

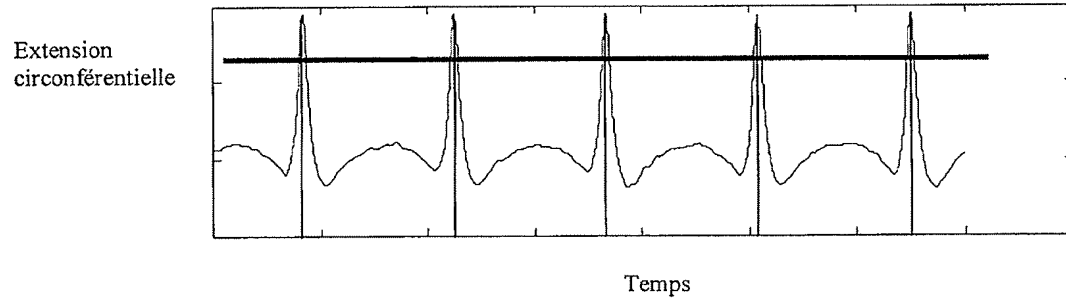


Figure 14

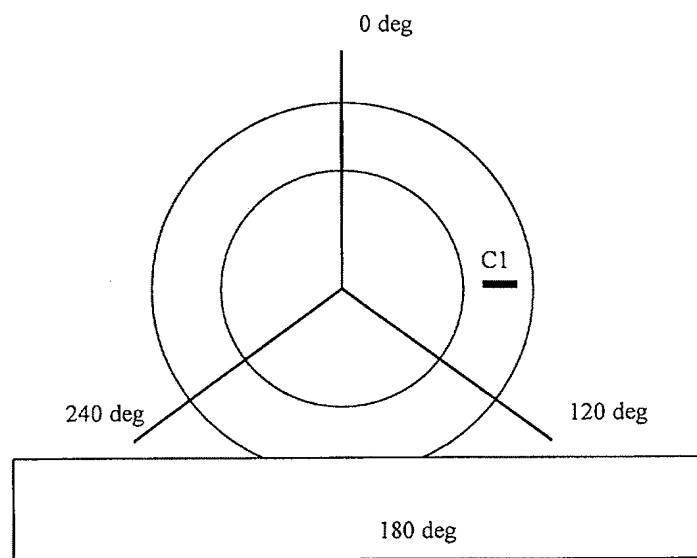
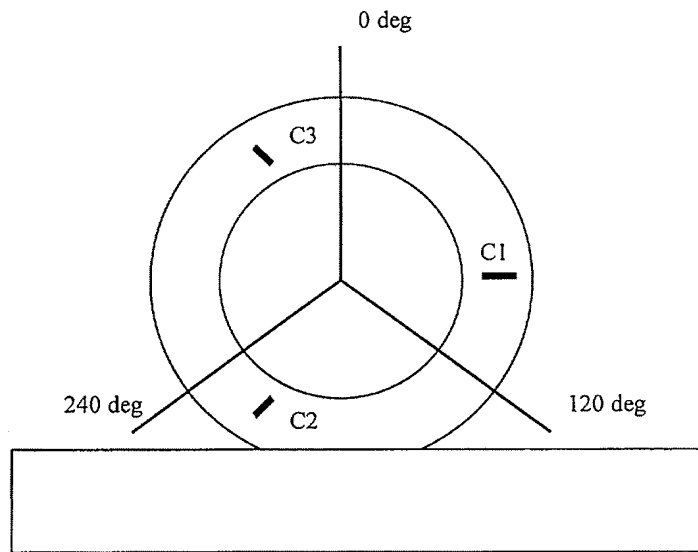
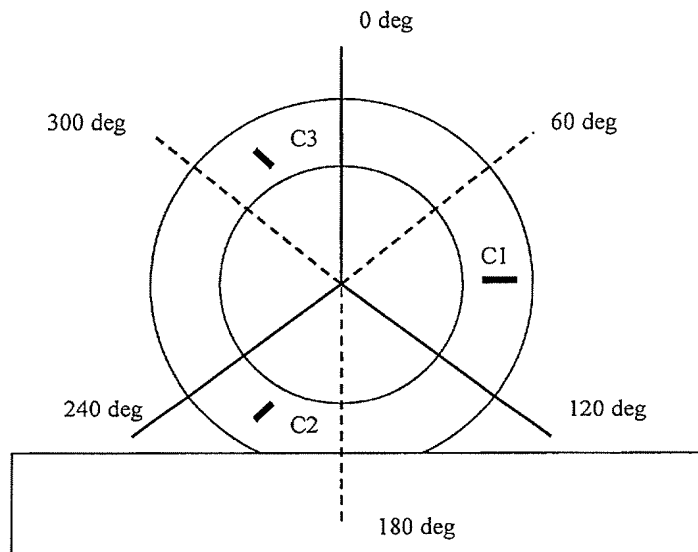


Figure 15

**Figure 16****Figure 17**

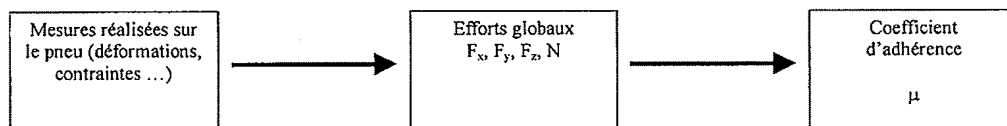


Figure 18

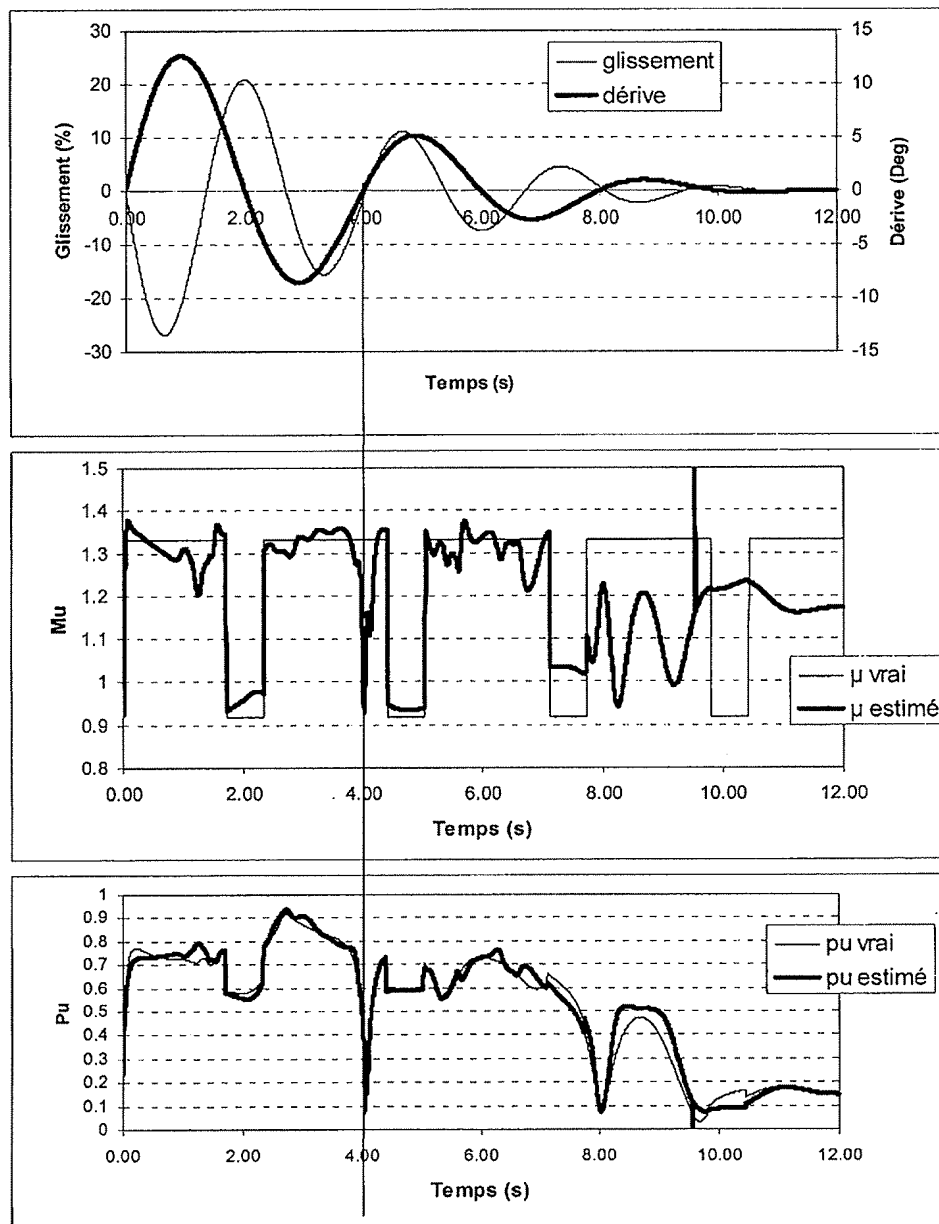


Figure 19



RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE

établi sur la base des dernières revendications
déposées avant le commencement de la recherche

2835919

N° d'enregistrement
nationalFA 614354
FR 0201597

DOCUMENTS CONSIDÉRÉS COMME PERTINENTS		Revendication(s) concernée(s)	Classement attribué à l'invention par l'INPI
Catégorie	Citation du document avec indication, en cas de besoin, des parties pertinentes		
A	WO 01 92078 A (CONTINENTAL AG ;GIUSTINO JAMES M (US)) 6 décembre 2001 (2001-12-06) * abrégé * * page 18, ligne 20 - ligne 23 * * figures 3,4 *	1,3,5,6, 8	G01N19/02 G01M17/02
A	EP 0 937 615 A (SIEMENS AG) 25 août 1999 (1999-08-25) * colonne 16, ligne 15 - colonne 17, ligne 21 * * figures 12,16,17 *	1	
A	US 2002/011093 A1 (MATSUNO KOJI) 31 janvier 2002 (2002-01-31) * abrégé * * figure 7 *	1	
A	US 5 964 265 A (BECHERER THOMAS) 12 octobre 1999 (1999-10-12) * Le document en entier *	1	
A	DE 39 39 917 A (BOSCH GMBH ROBERT) 6 juin 1991 (1991-06-06) * Le document en entier *	1	
			DOMAINES TECHNIQUES RECHERCHÉS (Int.CL.7)
			B60T
Date d'achèvement de la recherche		Examineur	
2 octobre 2002		Colonna, M	
CATÉGORIE DES DOCUMENTS CITÉS			
X : particulièrement pertinent à lui seul Y : particulièrement pertinent en combinaison avec un autre document de la même catégorie A : arrière-plan technologique O : divulgation non-écrite P : document intercalaire		T : théorie ou principe à la base de l'invention E : document de brevet bénéficiant d'une date antérieure à la date de dépôt et qui n'a été publié qu'à cette date de dépôt ou qu'à une date postérieure. D : cité dans la demande L : cité pour d'autres raisons & : membre de la même famille, document correspondant	

**ANNEXE AU RAPPORT DE RECHERCHE PRÉLIMINAIRE
RELATIF A LA DEMANDE DE BREVET FRANÇAIS NO. FR 0201597 FA 614354**

La présente annexe indique les membres de la famille de brevets relatifs aux documents brevets cités dans le rapport de recherche préliminaire visé ci-dessus.
Les dits membres sont contenus au fichier informatique de l'Office européen des brevets à la date du 02-10-2002
Les renseignements fournis sont donnés à titre indicatif et n'engagent pas la responsabilité de l'Office européen des brevets, ni de l'Administration française

Document brevet cité au rapport de recherche		Date de publication		Membre(s) de la famille de brevet(s)	Date de publication
WO 0192078	A	06-12-2001	AU	6524701 A	11-12-2001
			WO	0192078 A2	06-12-2001
EP 0937615	A	25-08-1999	DE	19807004 A1	09-09-1999
			EP	0937615 A2	25-08-1999
US 2002011093	A1	31-01-2002	JP	2002012160 A	15-01-2002
			DE	10130879 A1	04-04-2002
US 5964265	A	12-10-1999	DE	19646235 C1	02-04-1998
			EP	0841550 A2	13-05-1998
DE 3939917	A	06-06-1991	DE	3939917 A1	06-06-1991
			WO	9108129 A1	13-06-1991
			DE	59002663 D1	14-10-1993
			EP	0456774 A1	21-11-1991
			JP	4503790 T	09-07-1992
			KR	186829 B1	01-05-1999